

Newtonov gravitačný zákon

prvé veľké zjednotenie

mechanika 6

zákon síly

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Hovorí nám, aké je zrýchlenie telesa a z tejto informácie vieme vypočítať (napríklad metódou krok za krokom) aký je celý pohyb.

zákony pre síly

$$\vec{F} = \dots$$

Hovoria nám, aké síly pôsobia na teleso v rôznych situáciách. Bez znalosti týchto zákonov by sme nevedeli, aké síly máme dosadiť do zákona síly.

Aké sily existujú?

gravitačná

elektrická

magnetická

trenie

kontaktná

elastická

odpor prostredia




vztlaková

jadrová

Niektoré sú základné, iné z nich odvodené

Kolko je základných síl? (presnejšie povedané interakcií)

z dnešného pohľadu sú základné interakcie štyri (tri)

	• gravitačná		vesmír
elektroslabá {	• elektromagnetická		všetko
	• slabá jadrová		atómové jadrá
	• silná jadrová		

Štyri. Tri! Dve? Jedna?

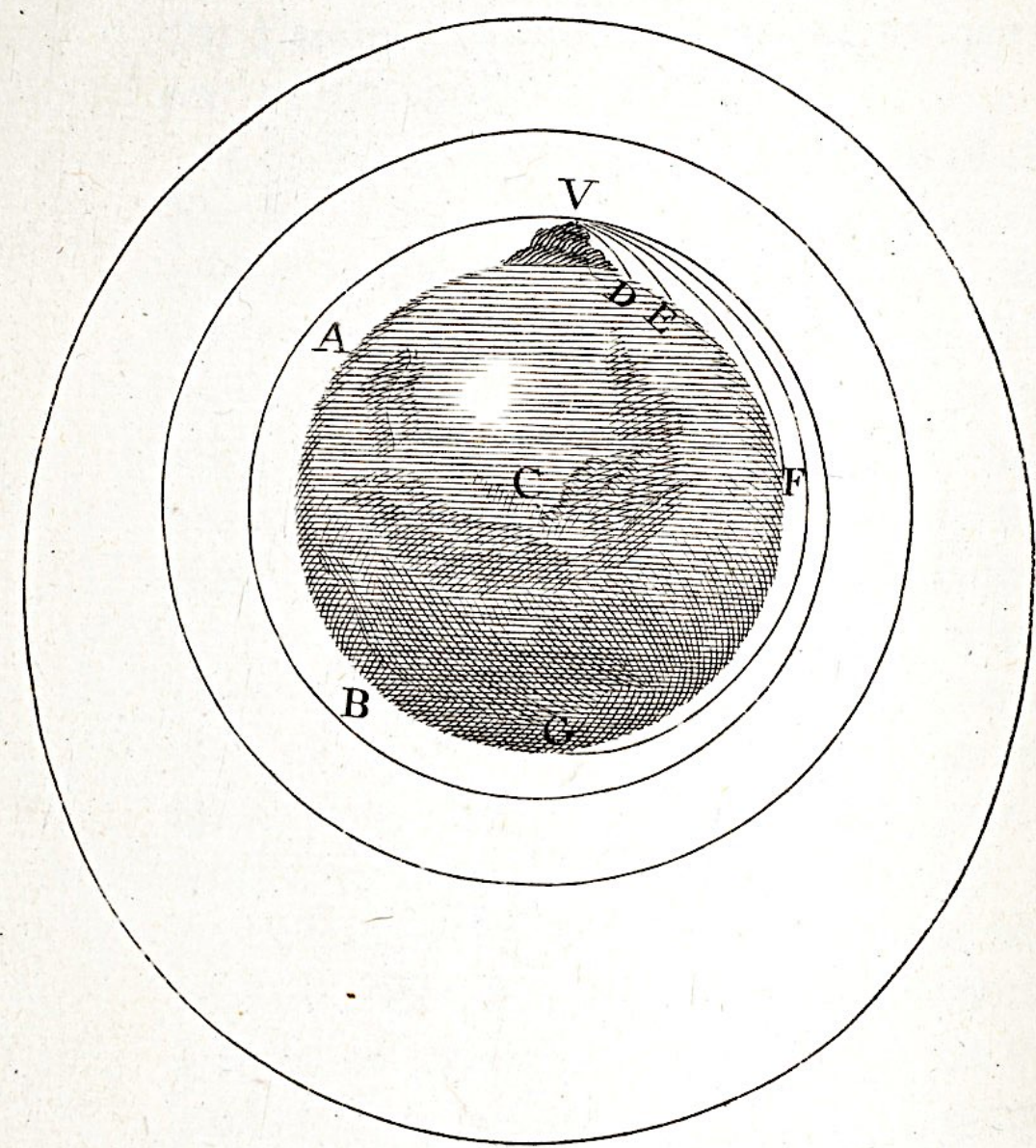
- gravitačná
 - elektroslabá !
 - silná jadrová
- } veľké zjednotenie ?
- } superstruny ?

Prečo si myslíme, že by to mohlo ísť?

Pretože v histórii fyziky sa to stalo už veľa krát.

Veľké zjednotenia v dejinách fyziky

- pozemská a nebeská mechanika Newton
- elektrina a magnetizmus Faraday
- elektromagnetizmus a optika Maxwell
- mechanika a termodynamika Boltzman, Gibbs
- gravitácia a geometria Einstein
- slabé a elektromagnetické sily Weinberg, Salam



Page 6.

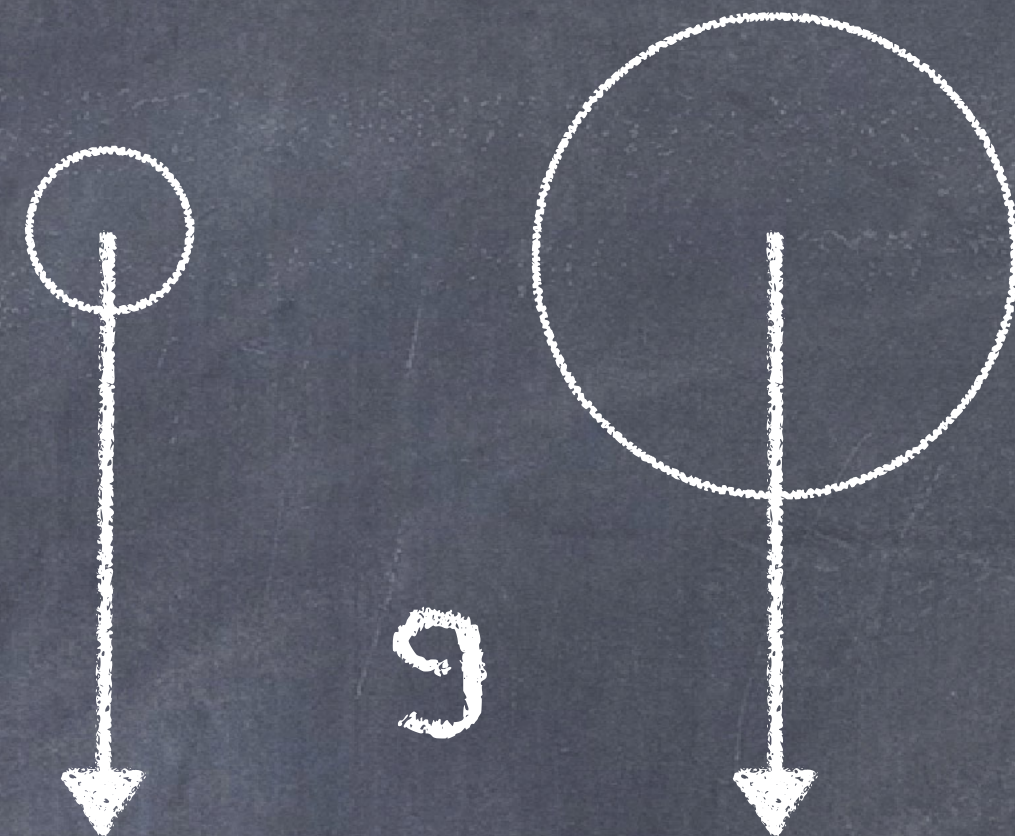
Newtonove zjednotenie (myšlienkový experiment)

Ak budeme z veľmi vysokej hory strieľať z dela guľu stále väčšou rýchlosťou, bude dostrel čoraz väčší. Pri určitej počiatočnej rýchlosti (dnes jej hovoríme prvá kozmická rýchlosť) obletí delová guľa celú zemeguľu.

V dôsledku gravitačnej sily sa teda bude chovať ako nízko letiaci satelit. Nie je aj pohyb iného satelitu (Mesiaca) takýmto pohybom? Inými slovami, nie je pohyb Mesiaca vlastne spôsobovaný rovnakou silou, ako pád jablka?

Aká je gravitačná sila?

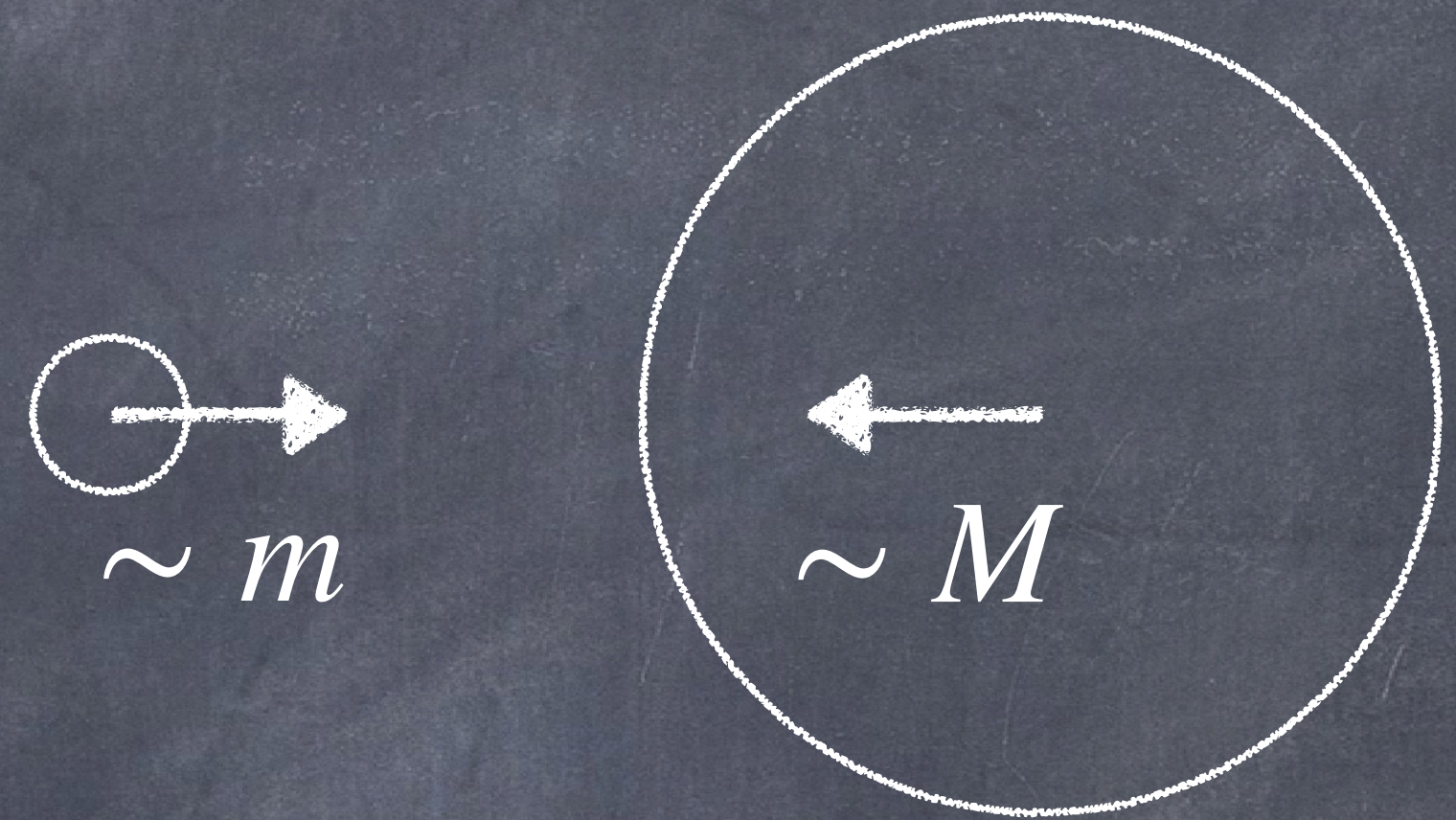
- Už od Galilea vieme toto: prít'ážlivá (gravitačná) sila Zeme je taká, že rôzne telesá (čiže s rôznymi hmotnosťami) padajú s rovnakým zrýchlením
- Aké musí byť F , aby $a = F/m$ bolo rovnaké pre rôzne m ?
- Sila musí byť úmerná hmotnosti (aby sa hmotnosť vykrátila)



$$F \sim m$$

Aká je gravitačná sila? II

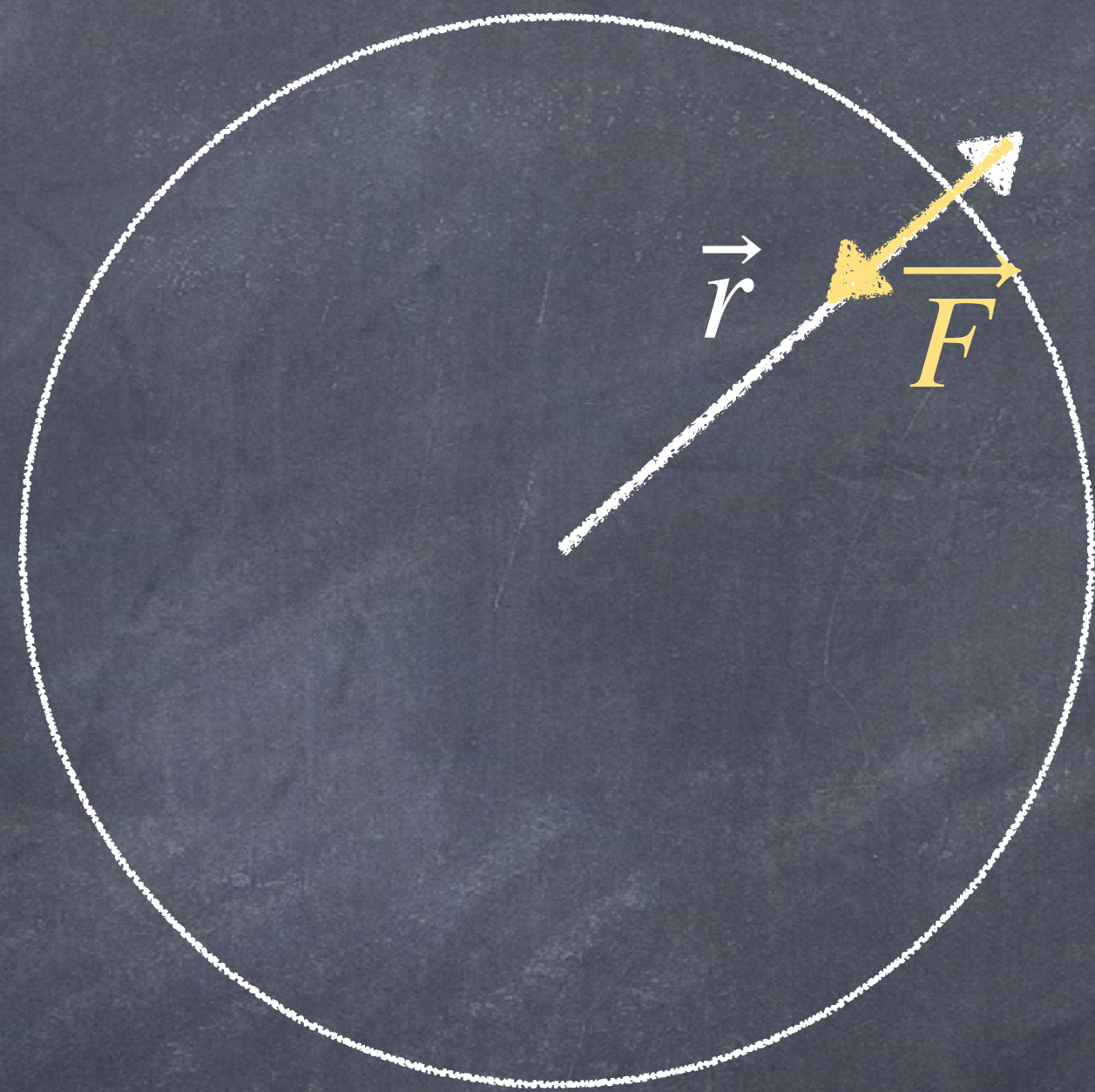
- Zo zákona akcie a reakcie (3. Newtonov zákon) vyplýva, že aj teleso pôsobí na Zem, a to rovnako veľkou silou
- Táto sila by mala byť úmerná hmotnosti Zeme (teraz je Zem tá priťahovaná)
- No a z rovnosti veľkostí akcie a reakcie nakoniec dostávame, že gravitačná sila je úmerná súčinu hmotností (premýšlite si)



$$F \sim M \cdot m$$

Aká je gravitačná sila? III

- Aký je smer gravitačnej sily? Do stredu Zeme. (Len to sa nám na povrchu Zeme bude všade javiť ako kolmo dolu.)
- Polohový vektor vzhľadom ku stredu Zeme smeruje od tohto stredu, takže \vec{F} má smer ako $-\vec{r}$
- U Galilea nezávisela sila od výšky, takže by nemala závisieť od veľkosti polohového vektora



$$\vec{F} \sim -M \cdot m \frac{\vec{r}}{r}$$

naozaj platí $\vec{F} \sim -M \cdot m \frac{\vec{r}}{r}$?

- gravitačné zrýchlenie všetkých telies na povrchu Zeme je naozaj rovnaké
- ale je rovnaké aj zrýchlenie Mesiaca?
- ak áno, potom zrejme máme správny gravitačný zákon a teda zjednotenie pozemskej a nebeskej mechaniky
- ak nie, potom buď treba gravitačný zákon modifikovať, alebo sa nám to zjednotenie jednoducho nepodarilo



zrýchlenie Mesiaca ...

- Mesiac sa pohybuje okolo Zeme po kružnici stále rovnakou rýchlosťou (presnejšie povedané veľkosťou rýchlosti)
- zo strednej školy by sme mali vedieť, že pri takom pohybe má dostredivé zrýchlenie $a = \frac{v^2}{r}$ (my to budeme mať neskôr)
- vzdialenosť r Mesiaca od Zeme poznáme: $r = 385\,000$ km (toto číslo poznali s dobrou presnosťou už starí Gréci)
- rýchlosť v jeho obehu vypočítame z r a doby obehu: $v = \frac{2\pi r}{T}$
dostaneme $v = 1000$ m/s

... sa veľmi líši od g

- zrýchlenie Mesiaca vychádza $0,0026 \text{ m/s}^2$
- to je veľmi iné ako gravitačné zrýchlenie na povrchu Zeme
- predpoklad, že gravitačná sila nezávisí od výšky respektíve od vzdialenosti telesa od (streda) Zeme, nás teda priviedol k sporu s nameranými veličinami
- the otázka: ako závisí gravitačná sila od tejto vzdialenosti?
- práve na to prišiel Newton a my sa o to tiež pokúsime

$$1/r^2$$

- vzdialenosť Mesiaca od (stredu) Zeme je zhruba 60-krát väčšia ako polomer Zeme
- gravitačné zrýchlenie na povrchu Zeme je 3773-krát väčšie ako dostredivé zrýchlenie Mesiaca
- $60^2 = 3600$
- ak je dostredivé zrýchlenie Mesiaca spôsobené gravitačnou silou Zeme, tak táto sila sa zdá byť nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti

Newtonov gravitační zákon

- spojením doterajších úvah dostáváme

$$\vec{F} = -\kappa \frac{M \cdot m}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

(konstanta úměrnosti κ se nazývá gravitační konstantou)

- Newton dále ukázal, že z jeho pohybové rovnice a z jeho gravitačního zákona vyplývají Keplerovy zákony
- a právě tím zjednotil pozemskou a nebeskou mechaniku

reklama na závet

- na budúcej prednáške sa zahráme na Newtona a pokúsime sa odvodiť Keplerove zákony z Newtonovej rovnice
- keďže sme sa zatiaľ nenaučili potrebnú matematiku (ktorú Newton objavil práve pri tejto príležitosti), budeme to robiť metódou "krok za krokom", ktorá je použiteľná vždy
- skúste sa na tú prednášku pripraviť: napíšte program (či už v pythone alebo v niečom inom), ktorý bude riešiť metódou krok za krokom Newtonovu rovnicu s gravitačnou silou